



TUGAS AKHIR – SS141501

**ANALISIS *RELIABILITY* DAN *AVAILABILITY*
PADA STASIUN GILING DENGAN SISTEM SERI
MENGUNAKAN PENDEKATAN MARKOV
DI PT. PG X SIDOARJO**

**LINTANG AYU PRATIWI
NRP 1315 105 048**

**Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, M.SIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – SS141501

**ANALISIS *RELIABILITY* DAN *AVAILABILITY*
PADA STASIUN GILING DENGAN SISTEM SERI
MENGUNAKAN PENDEKATAN MARKOV
DI PT. PG X SIDOARJO**

**LINTANG AYU PRATIWI
NRP 1315 105 048**

**Dosen Pembimbing
Drs. Haryono,M.SIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – SS141501

**ANALYSIS OF RELIABILITY AND AVAILABILITY
ON SERIAL PROCESS OF MILLING STATIONS
PT. PG X SIDOARJO USING MARKOV**

**LINTANG AYU PRATIWI
NRP 1315 105 048**

**Supervisor
Drs. Haryono,M.SIE**

**UNDERGRADUATE PROGRAM
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *RELIABILITY* DAN *AVAILABILITY* PADA STASIUN GILING DENGAN SISTEM SERI MENGUNAKAN PENDEKATAN MARKOV DI PT. PG X SIDOARJO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


Lintang Ayu Pratiwi

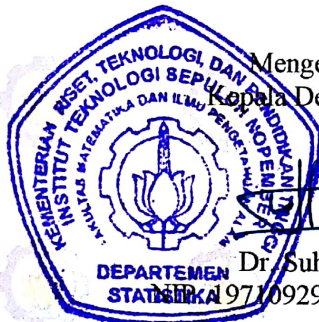
NRP. 1315 105 048

Disetujui oleh Pembimbing:

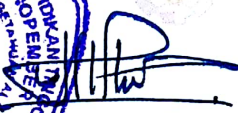
Drs. Haryono, MSIE.

NIP. 19520919 197901 1 001

()



Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

ANALISIS RELIABILITY DAN AVAILABILITY PADA STASIUN GILING DENGAN SISTEM SERI MENGUNAKAN PENDEKATAN MARKOV DI PT. PG X SIDOARJO

Nama Mahasiswa : Lintang Ayu Pratiwi
NRP : 1315 105 048
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Drs. Haryono, M.SIE

Abstrak

PT. PG X Sidoarjo merupakan perusahaan penghasil gula SHS I (Superior Hooft Suiker) atau gula kristal putih I. Proses produksi gula terdiri dari 6 stasiun produksi, yaitu stasiun giling, pemurnian, penguapan, masakan, putaran dan penyelesaian. Stasiun yang memegang peranan penting di dalam proses produksi adalah stasiun giling yang merupakan tahap awal untuk mendapatkan nira dari tebu. Permasalahan yang terjadi di stasiun giling diakibatkan oleh terjadinya kerusakan fluktuatif atau tidak menentu. Kerusakan pada salah satu gilingan dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi karena sistem berupa rangkaian seri atau saling dependen. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis reliabilitas dan availabilitas pada stasiun giling. Data yang digunakan merupakan data sekunder diperoleh dari PT. PG X Sidoarjo. Data meliputi masa pakai dan lama waktu perbaikan mesin cane cutter dan unigrator, gilingan I, gilingan II, gilingan III dan gilingan IV pada musim giling 2013 hingga 2016. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa subsistem gilingan I dan gilingan II merupakan subsistem yang memberikan pengaruh terbesar terhadap penurunan availabilitas sistem secara keseluruhan.

Kata kunci: Markov, Persamaan Diferensial, Sistem Seri

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

ANALYSIS OF RELIABILITY AND AVAILABILITY ON SERIAL PROCESS OF MILLING STATIONS PT. PG X SIDOARJO USING MARKOV

Student Name : Lintang Ayu Pratiwi
NRP : 1315 105 048
Department : Statistics
Supervisor : Drs. Haryono, MSIE

Abstract

PT. PG X Sidoarjo is a sugar producing company. Sugar production process consists of 6 production stations, namely milling station, purification station, evaporation station, cooking station, round station and settlement station. The station that plays an important role in the production process is the milling station which is the initial stage to get the sugar cane juice. The problems that occur in the milling station is caused by the occurrence of fluctuations or erratic damage. Damage to one mill may result in cessation of production process because the system is series or interdependent. Therefore in this study conducted reliability and availability analysis on the milling station. The data used is secondary data obtained from PT. PG X Sidoarjo. The data covers the lifetime and duration of repair of cane cutter and unigrator machine, miller I, miller II, miller III and miller IV in milling season 2013 until 2016. From this research it is concluded that miller I and miller II are the subsystem that gives the biggest influence to the decrease overall system availability..

Key words: *Differential Equation, Markov, Serial Process*

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses Produksi PT. PG X Sidoarjo	5
2.2 Analisis Markov terhadap Sistem Seri	8
2.3 Metode Runge Kutta	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	17
3.2 Variabel Penelitian	17
3.3 Langkah Analisis	17
3.3 Diagram Alir	19
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pemodelan Markov Sistem Giling	21
4.2 Probabilitas Kondisi Steady State dan Transient State	23
4.3 Efek Perubahan Laju Kerusakan dan Laju Perbaikan	24

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 31

5.2 Saran 32

DAFTAR PUSTAKA 33

LAMPIRAN 35

BIODATA PENULIS 45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Produksi Gula.....	5
Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Stasiun Giling.....	7
Gambar 2.3 Diagram Transisi Markov	9
Gambar 3.1 Diagram Alir	19
Gambar 4.1 Diagram Transisi Proses Giling di PT. X	22
Gambar 4.2 Reliabilitas Sistem	24

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	17
Tabel 4.1 Laju Kerusakan dan Laju Perbaikan Subsistem	21
Tabel 4.2 Probabilitas Setiap State Pada Kondisi Steady	23
Tabel 4.3 Efek Laju Kerusakan Gilingan I dan Laju Kerusakan Gilingan II	25
Tabel 4.4 Efek Laju Perbaikan Gilingan I dan Laju Perbaikan Gilingan II	25
Tabel 4.5 Efek Laju Kerusakan Gilingan I dan Laju Perbaikan Gilingan I	26
Tabel 4.6 Efek Laju Kerusakan Gilingan II dan Laju Perbaikan Gilingan II	26
Tabel 4.7 Efek Laju Kerusakan Cane Cutter terhadap Reliabilitas Sistem	27
Tabel 4.8 Efek Laju Kerusakan Gilingan I terhadap Reliabilitas Sistem	28
Tabel 4.9 Efek Laju Kerusakan Gilingan II terhadap Reliabilitas Sistem	28
Tabel 4.10 Efek Laju Kerusakan Gilingan III terhadap Reliabilitas Sistem	29
Tabel 4.11 Efek Laju Kerusakan Gilingan IV terhadap Reliabilitas Sistem	29

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Subsistem <i>Cane Cuter</i> dan Unigrator.....	37
Lampiran 2 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Subsistem Gilingan I.....	38
Lampiran 3 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Subsistem Gilingan II.....	39
Lampiran 4 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Subsistem Gilingan III	40
Lampiran 5 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Subsistem Gilingan IV	41
Lampiran 6 Perhitungan <i>Steady State</i>	42
Lampiran 7 Surat Pernyataan Data	44

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gula merupakan komoditas strategis mengingat keberadaannya sebagai salah satu dari sembilan bahan kebutuhan pokok masyarakat. Peningkatan jumlah penduduk, beragamnya menu makanan masyarakat, serta tumbuhnya industri makanan dan minuman menjadi pemicu peningkatan kebutuhan gula. Diproyeksikan pada tahun 2020 ketika jumlah penduduk Indonesia mencapai 290 juta jiwa dengan konsumsi gula 17,6 kg/kapita dalam satu tahun, maka kebutuhan gula nasional mencapai 5,1 juta ton (Prasetyo, 2016). Tingginya kebutuhan gula menyebabkan produsen gula di Indonesia bersaing dalam meningkatkan kapasitas produksi maupun kualitas produk. Ketika sektor industri berkompetisi dengan ketat, mesin menjadi komponen pokok dalam proses produksi. Perusahaan harus menjaga kondisi mesin agar tetap beroperasi secara optimal. Kerusakan pada satu mesin dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi sehingga perusahaan mengalami lost production dan kerugian yang besar.

PT. PG X merupakan perusahaan penghasil gula SHS I (Superior Hooft Suiker) atau gula kristal putih I. Proses produksi gula terdiri dari 6 stasiun produksi, yaitu stasiun giling, pemurnian, penguapan, masakan, putaran dan penyelesaian. Stasiun yang memegang peranan penting di dalam proses produksi adalah stasiun giling yang merupakan tahap awal untuk mendapatkan nira dari tebu. Permasalahan yang terjadi di stasiun giling diakibatkan oleh kerusakan gilingan karena masuknya benda asing atau kondisi komponen yang sudah aus sehingga sering terjadi kerusakan fluktuatif atau tidak menentu. Kerusakan pada salah satu gilingan dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi karena sistem berupa rangkaian seri atau saling dependen. Hal tersebut menyebabkan PT. PG X tidak mampu mencapai target giling yang ditetapkan perusahaan. Rata-rata giling PT. PG X pada musim giling 2016 sebesar 1953 ton/hari,

padahal target giling PT. PG X adalah 2750 ton/hari (X, 2016). Sebagai bentuk evaluasi dan peningkatan performance stasiun giling, dilakukan penelitian dengan menggunakan analisis availabilitas dan reliabilitas pada stasiun giling yang memiliki kondisi dependen dengan pendekatan persamaan diferensial berdasarkan diagram transisi markov. Dalam stasiun giling diketahui bahwa seluruh subsistem hanya memiliki dua kondisi yaitu baik dan rusak.

Penelitian sebelumnya mengenai analisis reliabilitas dan availabilitas dengan sistem seri menggunakan pendekatan markov dilakukan oleh Astarini (2015) diperoleh subsistem *Rollermill* dan *Rawmill* 4 merupakan subsistem yang memberi pengaruh paling besar terhadap nilai availabilitas dan reliabilitas sistem ditinjau dari perubahan laju kerusakan dan laju perbaikan subsistem. Selain itu penelitian tentang analisis availabilitas sistem seri dengan pendekatan markov juga dilakukan oleh Agutina (2013) diperoleh subsistem yang memberikan efek terbesar terhadap availabilitas sistem adalah subsistem *Feeding*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada perusahaan subsistem mana yang paling berpengaruh terhadap kondisi sistem di stasiun giling, jika subsistem tersebut diperhatikan akan meningkatkan performance sistem. Sehingga kapasitas produksi meningkat dan target produksi terpenuhi..

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang terjadi di stasiun giling diakibatkan oleh kerusakan gilingan karena masuknya benda asing atau kondisi komponen yang sudah aus sehingga sering terjadi kerusakan fluktuatif atau tidak menentu. Kerusakan pada salah satu gilingan dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi karena sistem berupa rangkaian seri atau saling dependen. Hal tersebut menyebabkan PT. PG X tidak mampu mencapai target giling yang ditetapkan perusahaan. Rata-rata giling PT. PG X pada musim giling 2016 sebesar 1837 ton/hari, padahal target giling PT. PG X adalah 2700 ton/hari.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah apa subsistem yang paling kritis dan

memberikan pengaruh besar terhadap performance stasiun giling di PT. PG X?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi subsistem mana yang paling kritis dan memberikan pengaruh besar terhadap performance stasiun giling di PT. PG X Sidoarjo dengan menentukan probabilitas sistem berada pada kondisi tertentu (steady state) serta mencari kombinasi laju kerusakan dan laju perbaikan untuk mengetahui availabilitas sistem jangka panjang.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi kepada PT. PG X mengenai subsistem mana yang paling berpengaruh terhadap kondisi sistem di stasiun giling, jika subsistem tersebut diperhatikan akan meningkatkan performance sistem. Sehingga kapasitas produksi meningkat dan target produksi terpenuhi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laju kerusakan dan laju perbaikan subsistem diasumsikan berdistribusi eksponensial karena memiliki sifat *memory less*
2. Subsistem diasumsikan beroperasi dengan baik setelah mendapat perawatan pada musim berhenti giling.
3. Subsistem diasumsikan tidak mengalami kerusakan secara bersamaan.

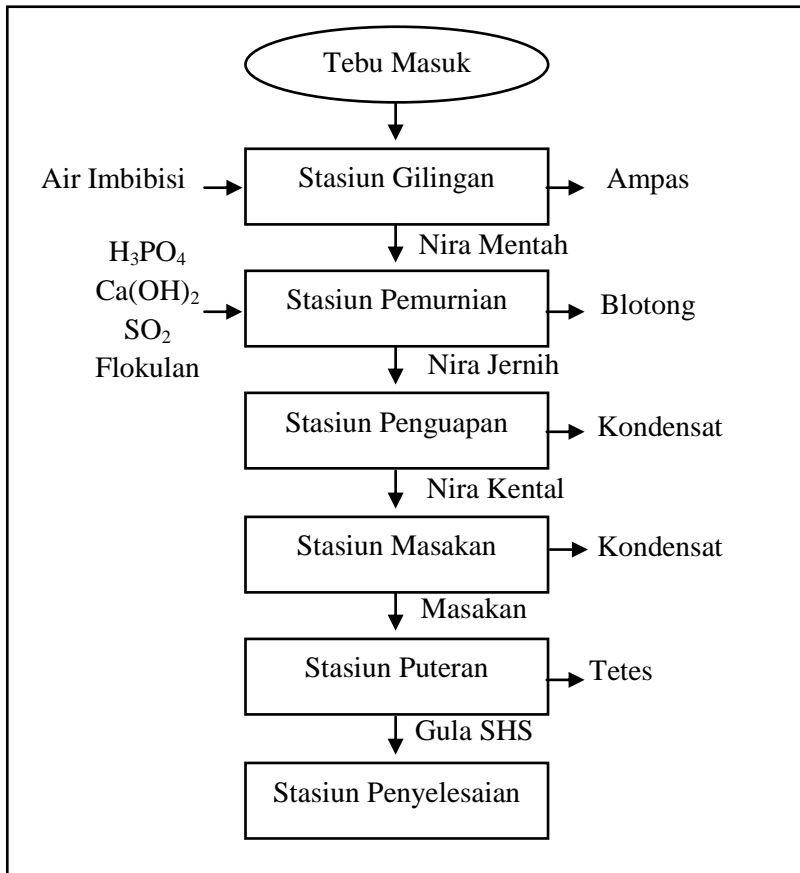
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi PT. PG X Sidoarjo

Proses produksi gula di PT. PG X dimulai dari stasiun gilingan dan berakhir di stasiun penyelesaian. Hasil yang diproduksi adalah gula jenis *Superior Hooft Suiker* (SHS). Diagram alir proses produksi gula ditunjukkan oleh Gambar 2.1.

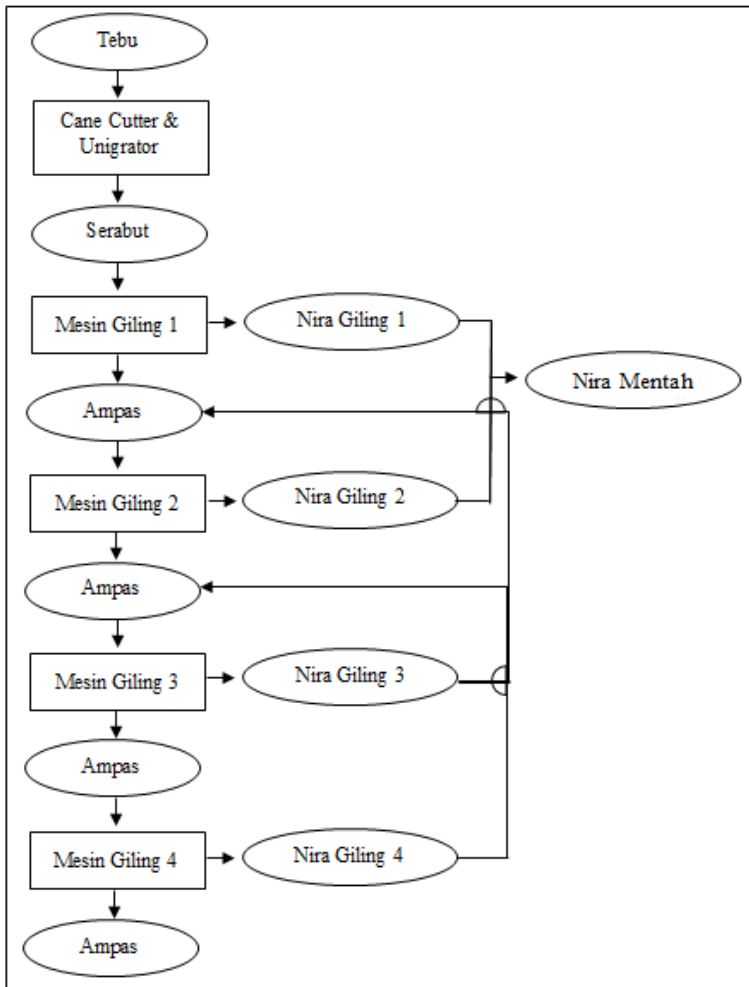


Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Produksi Gula (Sumber : PT. PG X Sidoarjo)

Stasiun yang memegang peranan paling penting pada proses produksi gula adalah stasiun gilingan. Tujuan dari stasiun gilingan adalah mendapatkan nira sebanyak mungkin dan mengusahakan agar nira yang tertinggal pada ampas sekecil mungkin. Diagram alir stasiun giling ditunjukkan oleh Gambar 2.2

Pada proses produksi gula di stasiun giling terdapat 5 subsistem sebagai berikut.

1. Subsistem A (Cane Cutter & Unigrator) berfungsi mencacah dan menumbuk tebu hingga menjadi serat tebu
2. Subsistem B (Mesin Giling 1) berfungsi menggiling dan memerah tebu hingga menghasilkan nira giling 1 dan ampas giling 1. Nira giling 1 merupakan nira mentah yang akan ditimbang dan diproses di stasiun pemurnian.
3. Subsistem C (Mesin Giling 2) berfungsi memerah kembali ampas giling 1 yang dicampur oleh nira giling 3 untuk meminimalisir nira pada ampas 1. Hasil dari mesin giling 2 yaitu ampas giling 2 dan nira giling 2. Nira giling 2 merupakan nira mentah yang akan ditimbang dan diproses di stasiun pemurnian.
4. Subsistem D (Mesin Giling 3) berfungsi memerah kembali ampas giling 2 yang dicampur oleh nira giling 4 untuk meminimalisir nira pada ampas giling 2. Hasil dari mesin giling 3 adalah ampas giling 3 dan nira giling 3.
5. Subsistem E (Mesin Giling 4) berfungsi memerah kembali ampas giling 3 yang dicampur dengan air imbibisi untuk meminimalisir nira pada ampas giling 3. Hasil dari mesin giling 4 adalah ampas giling 4 dan nira giling 4. Ampas giling 4 merupakan ampas yang tidak mengandung nira dan selanjutnya diangkut oleh bagasse carrier menuju ke stasiun ketel untuk bahan bakar.



Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Stasiun Giling

2.2 Analisis Markov terhadap Sistem Seri

Sistem seri merupakan suatu sistem yang terdiri atas beberapa komponen yang dirangkai secara berurutan. Suatu komponen yang dirangkai secara seri akan menimbulkan berhentinya operasi ketika terjadi kerusakan pada salah satu komponen dalam rangkaian. Namun ketika terdapat komponen cadangan (komponen pengganti) dalam sistem, kondisi berhentinya operasi dapat dihindari. Analisis markov merupakan metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai availabilitas dan reliabilitas kondisi tersebut. Reliabilitas sistem seri dapat dihitung menggunakan rumus berikut apabila antar subsistem saling independen.

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \cdots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

R_i merupakan reliabilitas subsistem ke- i dengan $i=1,2,\dots,n$. Namun, ketika subsistem saling dependen dan subsistem yang rusak dapat diperbaiki agar dapat berfungsi kembali maka digunakan pendekatan persamaan diferensial yang didasarkan pada diagram transisi markov. Rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF) dan rata-rata waktu perbaikan (MTTR) untuk data yang memiliki distribusi Eksponensial dijabarkan sebagai berikut (Lewis, 1995).

$$MTTF_s = \frac{1}{\alpha_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad \text{dan} \quad MTTR_s = \frac{1}{\beta_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \beta_i} \quad (2.2)$$

α_i merupakan laju kerusakan subsistem sedangkan β_i merupakan laju perbaikan subsistem dapat diperoleh dengan persamaan (2.3) dan n merupakan banyaknya subsistem.

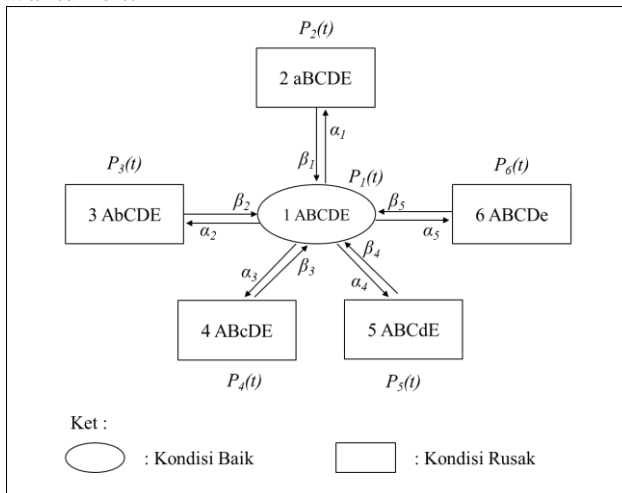
$$\alpha_i = \frac{m}{\sum_{l=1}^m x_l} \quad \text{dan} \quad \beta_i = \frac{m}{\sum_{l=1}^m y_l} \quad (2.3)$$

x_l adalah data waktu kerusakan ke- l dan y_l adalah data lama perbaikan dari kerusakan ke- l ($l = 1,2,\dots,m$), dimana m merupakan banyaknya data waktu kerusakan dan lama perbaikan

subsistem. Diagram transisi markov secara umum digambarkan pada Gambar 2.3.

Berikut adalah pengertian dari simbol-simbol yang digunakan dalam diagram transisi.

- A, B, C, D, dan E merupakan simbol yang menyatakan subsistem dari proses produksi dalam kondisi baik.
- a, b, c, d, dan e merupakan simbol yang menyatakan subsistem dari proses produksi dalam kondisi rusak.
- α_i dengan $i = 1, 2, 3, 4$ dan 5 merupakan simbol yang menyatakan laju kerusakan subsistem A, B, C, D dan E
- β_i dengan $i = 1, 2, 3, 4$ dan 5 merupakan simbol yang menyatakan laju perbaikan subsistem A, B, C, D dan E
- $P_j(t)$ dengan $j = 1, 2, 3, 4$ dan 5 merupakan simbol yang menyatakan probabilitas sistem berada pada state ke- j di waktu ke- t .



Gambar 2.3 Diagram Transisi Proses Giling di PT. PG X Sidoarjo

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilakukan perhitungan matematis untuk memperoleh persamaan diferensial yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan availabilitas sistem. Perhitungan untuk persamaan diferensial adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
P_1(t + \Delta t) &= [1 - \alpha_1 \Delta t - \alpha_2 \Delta t - \dots - \alpha_5 \Delta t] P_1(t) + P_2(t) \beta_1 \Delta t + \\
&\quad P_3(t) \beta_2 \Delta t + \dots + P_6(t) \beta_5 \Delta t \\
P_1(t + \Delta t) - P_1(t) &= [-\alpha_1 \Delta t - \alpha_2 \Delta t - \dots - \alpha_5 \Delta t] P_1(t) + P_2(t) \beta_1 \Delta t + \\
&\quad P_3(t) \beta_2 \Delta t + \dots + P_6(t) \beta_5 \Delta t \\
\frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} &= [-\alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_5] P_1(t) + P_2(t) \beta_1 + \\
&\quad P_3(t) \beta_2 + \dots + P_6(t) \beta_5
\end{aligned}$$

Jika nilai Δt mendekati 0, maka persamaan diferensial pada state 1 adalah sebagai berikut.

$$P'_1 = [-\alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_5] P_1(t) + P_2(t) \beta_1 + P_3(t) \beta_2 + \dots + P_6(t) \beta_5 \quad (2.4)$$

Persamaan diferensial untuk state selanjutnya ditunjukkan oleh persamaan (2.5) hingga (2.10).

$$P'_2(t) = \alpha_1 P_1(t) - P_2(t) \beta_1 \quad (2.5)$$

$$P'_3(t) = \alpha_2 P_1(t) - P_3(t) \beta_2 \quad (2.6)$$

$$P'_4(t) = \alpha_3 P_1(t) - P_4(t) \beta_3 \quad (2.7)$$

$$P'_5(t) = \alpha_4 P_1(t) - P_5(t) \beta_4 \quad (2.8)$$

$$P'_6(t) = \alpha_5 P_1(t) - P_6(t) \beta_5 \quad (2.9)$$

$$P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_6(t) = 1 \quad (2.10)$$

Pada saat

$$t = 0$$

$$P_j(0) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } j = 1 \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

Persamaan diferensial tersebut dapat diselesaikan dengan metode Runge-Kutta.

Availabilitas sistem jangka panjang atau pada saat steady state dengan mengikuti aturan

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = 0 \quad \text{dengan } t \rightarrow \infty$$

Mengacu pada persamaan diferensial pada persamaan (2.4) hingga persamaan (2.9), peluang dari setiap state pada saat steady state, $P_i(t \rightarrow \infty)$ disimbolkan dengan P_i adalah sebagai berikut.

$$P_2 = \frac{\alpha_1}{\beta_1} P_1 \quad (2.11)$$

$$P_3 = \frac{\alpha_2}{\beta_2} P_1 \quad (2.12)$$

$$P_4 = \frac{\alpha_3}{\beta_3} P_1 \quad (2.13)$$

$$P_5 = \frac{\alpha_4}{\beta_4} P_1 \quad (2.14)$$

$$P_6 = \frac{\alpha_5}{\beta_5} P_1 \quad (2.15)$$

Oleh karena

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 1$$

$$P_1 \left(1 + \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} + \dots + \frac{\alpha_5}{\beta_5} \right) = 1$$

Maka availabilitas jangka panjang dapat dihitung dengan cara

$$A(\infty) = P_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} + \dots + \frac{\alpha_5}{\beta_5} \right)} \quad (2.16)$$

2.3 Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta mencapai keakuratan dari suatu pendekatan Taylor tanpa memerlukan turunan-turunan tingkat tinggi. Bentuk umum metode Runge-Kutta dijabarkan sebagai berikut.

$$y_0 = \alpha \quad (2.17)$$

dan,

$$y_{r+1} = y_i + hF(x_i, y_i) \quad (2.18)$$

Dengan $i = 0, 1, 2, \dots$ fungsi F disebut sebagai fungsi kenaikan yang dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$F = \alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots + \alpha_o k_o \quad (2.19)$$

Dimana m merupakan orde dari metode Runge-Kutta, k_i adalah konstanta yang dijabarkan sebagai berikut.

$$k_i = f \left(x_r + p_{o-1} h, y_r + q_{o-1,1} k_1 h + q_{o-1,2} k_2 h + \dots + q_{o-1,o-1} k_{o-1} h \right) \quad (2.20)$$

Nilai-nilai α_i , p_i , dan q_{ij} untuk orde o dinyatakan dengan cara menyamakan persamaan dengan ekspansi deret Taylor orde o (Munir, 2005). Berikut merupakan bentuk persamaan untuk metode Runge-Kutta orde 1,2,3, dan 4 (Chapra, 1991).

a. Metode Runge-Kutta orde 1

$$y_{r+1} = y_r + k_1 \quad (2.21)$$

dengan $\alpha_i = 1$ dan k_1 diperoleh dari persamaan (2.14)

b. Metode Runge-Kutta orde 2

$$y_{r+1} = y_r + \frac{1}{2}(k_1 + k_2) \quad (2.22)$$

dengan k_1 diperoleh dari persamaan (2.14) dan

$$k_2 = hf(x_r + h, y_r + k_1) \quad (2.23)$$

c. Metode Runge-Kutta orde 3

$$y_{r+1} = y_r + \frac{1}{6}(k_1 + 4k_2 + k_3) \quad (2.24)$$

dengan k_1 diperoleh dari persamaan (2.14) dan

$$k_2 = hf \left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r + \frac{1}{2}k_1 \right) \quad (2.25)$$

$$k_3 = hf(x_r + h, y_r - k_1 + 2k_2) \quad (2.26)$$

d. Metode Runge-Kutta orde 4

$$y_{r+1} = y_r + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (2.27)$$

dengan k_1 diperoleh dari persamaan (2.14) dan

$$k_2 = hf \left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r + \frac{1}{2}k_1 \right) \quad (2.28)$$

$$k_3 = hf\left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r + \frac{1}{2}k_2\right) \quad (2.29)$$

$$k_4 = hf(x_r + h, y_r + k_3) \quad (2.30)$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder diperoleh dari PT. PG X Sidoarjo. Data meliputi usia pakai dan lama waktu perbaikan mesin cane cutter dan unigrator, gilingan I, gilingan II, gilingan III dan gilingan IV pada musim giling 2013 hingga 2016

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah usia pakai dan lama waktu perbaikan yang disajikan pada Tabel 3.1. Usia pakai dihitung mulai dari mesin mulai beroperasi setelah mendapatkan perawatan pada musim berhenti giling hingga mesin berhenti beroperasi karena mati. Lama waktu perbaikan dihitung mulai dari mesin diperbaiki hingga selesai diperbaiki.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No.	Variabel Penelitian	No	Variabel Penelitian
1	Masa Pakai Cane Cutter & Unigrator (x_1)	6	Lama Perbaikan Cane Cutter & Unigrator (y_1)
2	Masa Pakai Gilingan I (x_2)	7	Lama Perbaikan Gilingan I (y_2)
3	Masa Pakai Gilingan II (x_3)	8	Lama Perbaikan Gilingan II (y_3)
4	Masa Pakai Gilingan III (x_4)	9	Lama Perbaikan Gilingan III (y_4)
5	Masa Pakai Gilingan IV (x_5)	10	Lama Perbaikan Gilingan IV (y_5)

3.3 Langkah Analisis

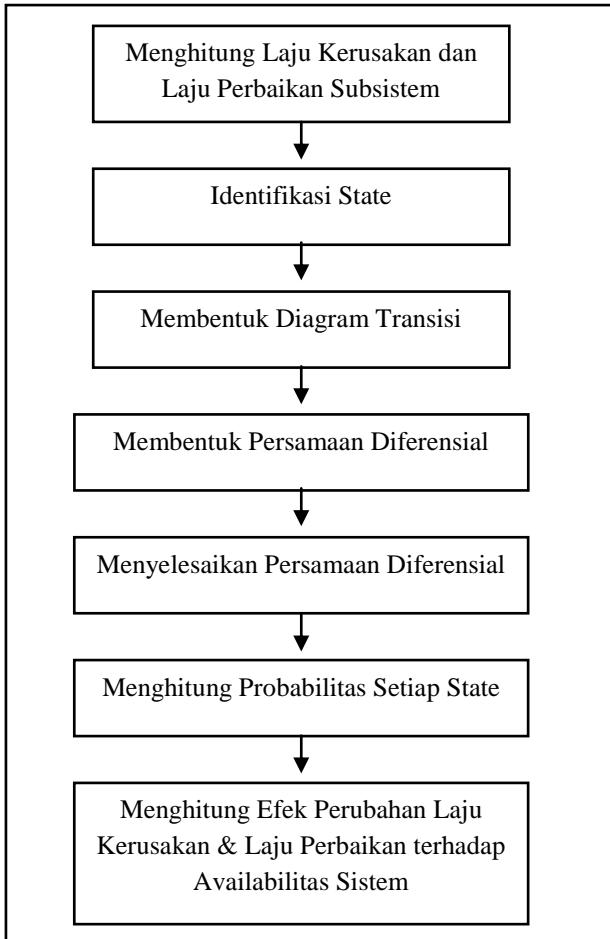
Langkah analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

- a. Menghitung laju kerusakan dan laju perbaikan masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3)
- b. Identifikasi state dari proses giling di PT. PG X Sidoarjo
- c. Membentuk diagram transisi berpacu pada Gambar 2.3

- d. Membuat persamaan diferensial berdasarkan persamaan (2.4) hingga persamaan (2.10)
- e. Menyelesaikan persamaan diferensial dengan metode Runge-Kutta orde 4 untuk menentukan probabilitas sistem pada kondisi transient state atau kondisi dipengaruhi oleh waktu
- f. Menghitung nilai probabilitas tiap state pada kondisi steady state berdasarkan persamaan (2.11) hingga persamaan (2.16)
- g. Melakukan simulasi dengan mengganti nilai laju kerusakan dan laju perbaikan terhadap beberapa subsistem yang dianggap penting. Efek laju kerusakan dan laju perbaikan dicari dengan mengkombinasikan keduanya dan dihitung availabilitas sistem jangka panjang dengan persamaan (2.16)

3.4 Diagram Alir

Diagram Alir yang menggambarkan langkah analisis disajikan dalam Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Markov Sistem Giling di PT. PG X Sidoarjo

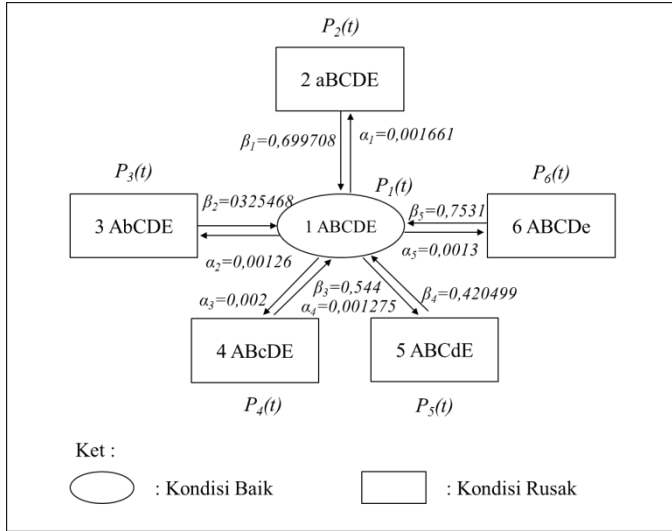
Pembentukan model markov didasarkan pada kondisi sistem giling di PT. PG X Sidoarjo. Data penunjang yang dibutuhkan dalam pemodelan adalah laju kerusakan dan laju perbaikan dari masing-masing subsistem yang diasumsikan berdistribusi eksponensial dan dihitung berdasarkan persamaan (2.3). berikut adalah hasil perhitungan laju kerusakan dan laju perbaikan untuk masing-masing subsistem.

Tabel 4.1 Laju Kerusakan dan Laju Perbaikan Subsistem

Subsistem	Laju Kerusakan	Laju Perbaikan
Cane Cutter & Unigrator	0,001661	0,699708
Gilingan I	0,00126	0,325468
Gilingan II	0,002001	0,544218
Gilingan III	0,001275	0,420499
Gilingan IV	0,001339	0,753138

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa gilingan II merupakan subsistem yang paling sering mengalami kerusakan jika dibandingkan dengan subsistem lainnya. sebab laju kerusakan gilingan II paling tinggi yakni sebesar 0,002001 kerusakan/jam atau subsistem akan mengalami kerusakan setelah dioperasikan selama 500 jam. Sedangkan subsistem yang paling jarang mengalami kerusakan adalah gilingan I karena laju kerusakan gilingan I paling rendah yakni sebesar 0,00126 kerusakan/jam atau subsistem akan mengalami kerusakan setelah dioperasikan selama 794 jam.

Setelah diketahui laju kerusakan dan laju perbaikan masing-masing subsistem maka dibentuk diagram transisi markov yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Transisi Proses Giling di PT. PG X Sidoarjo

Gambar 4.1 menjelaskan kondisi yang mungkin terjadi pada proses giling di PT. PG X Sidoarjo. State 1 menunjukkan kondisi seluruh state subsistem beroperasi dengan baik. State 2 menunjukkan kondisi subsistem cane cutter dan unigrator rusak sedangkan subsistem lain beroperasi dengan baik. State 3 menunjukkan kondisi subsistem gilingan I rusak sedangkan subsistem lain beroperasi dengan baik. State 4 menunjukkan kondisi subsistem gilingan II rusak sedangkan subsistem lain beroperasi dengan baik. State 5 menunjukkan kondisi subsistem gilingan III rusak sedangkan subsistem lain beroperasi dengan baik. Serta state 6 menunjukkan kondisi subsistem gilingan IV rusak sedangkan subsistem lain beroperasi dengan baik.

Mengacu pada diagram transisi pada Gambar 4.1 serta laju kerusakan pada Tabel 4.1, dibentuk persamaan diferensial untuk setiap state yang disesuaikan dengan formula pada persamaan (2.4) hingga (2.10) sebagai berikut.

$$P'_1(t) = -0,00754P_1(t) + 0,699708P_2(t) + 0,325468P_3(t) +$$

$$0,544218P_4(t) + 0,420499P_5(t) + 0,73138P_6(t)$$

$$P'_2(t) = 0,001661P_1(t) - 0,699708P_2(t)$$

$$P'_3(t) = 0,00126P_1(t) - 0,325468P_3(t)$$

$$P'_4(t) = 0,002001P_1(t) - 0,544218P_4(t)$$

$$P'_5(t) = 0,001275P_1(t) - 0,420499P_5(t)$$

$$P'_6(t) = 0,001339P_1(t) - 0,753138P_6(t)$$

$$P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) = 1$$

4.2 Probabilitas Pada Kondisi *Steady state* dan *Transient state*

Berdasarkan persamaan diferensial pada uraian sebelumnya, dilakukan perhitungan nilai probabilitas setiap state pada kondisi *steady state* berdasarkan persamaan (2.11) hingga (2.15) sebagai berikut.

$$P_2 = 0,002374P_1$$

$$P_3 = 0,003872P_1$$

$$P_4 = 0,003677P_1$$

$$P_5 = 0,003031P_1$$

$$P_6 = 0,001778P_1$$

Nilai probabilitas sistem berada pada state ke-1 dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15), sehingga diperoleh nilai $P_1 = 0,985481$. Nilai probabilitas pada state ke-1 digunakan untuk menghitung probabilitas pada state ke-2, 3, 4, 5 dan 6 dengan mengacu pada persamaan sebelumnya. Hasil perhitungan probabilitas sistem berada pada state ke-2, 3, 4, 5 dan 6 disajikan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut.

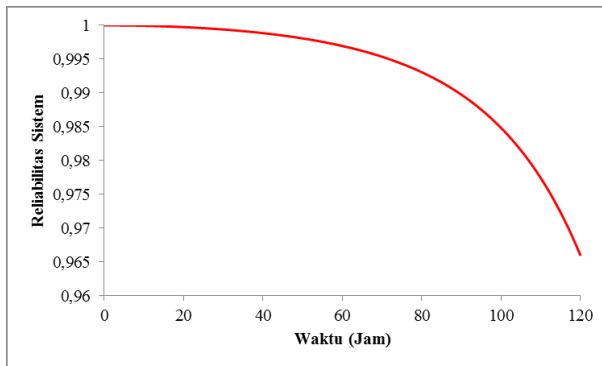
Tabel 4.2 Probabilitas Setiap State Pada Kondisi *Steady state*

State ke-	Peluang
1	0,985481
2	0,002340
3	0,003816
4	0,003624
5	0,002987
6	0,001752

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa probabilitas sistem berada pada state ke-1 sebesar 0,985481, yang berarti probabilitas sistem beroperasi dengan baik pada kondisi *steady state* adalah 98%. Probabilitas subsistem gilingan I mengalami kerusakan

lebih tinggi dibanding yang lain karena kerja subsistem gilingan I paling berat mengingat input dari subsistem ini adalah tebu dan sering terjadi kerusakan akibat tebu kotor atau masuknya benda asing dalam mesin giling I. Probabilitas terjadinya kerusakan pada gilingan II hingga gilingan IV semakin kecil karena kerja gilingan II hingga gilingan IV semakin ringan.

Probabilitas sistem saat kondisi *transient state* atau pada kondisi dipengaruhi oleh waktu dihitung menggunakan metode numerik Runge Kutta. Berdasarkan persamaan diferensial pada subbab 4.1 dapat digambarkan kondisi reliabilitas sistem dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Reliabilitas Sistem

Gambar 4.2 menunjukkan reliabilitas sistem menurun dari waktu ke waktu. Sehingga dapat dinyatakan kondisi mesin turun.

4.3 Efek Perubahan Laju Kerusakan dan Laju Perbaikan terhadap Availabilitas dan Reliabilitas Sistem

Availabilitas sistem dalam jangka panjang dihitung dengan berbagai kombinasi laju kerusakan dan laju perbaikan subsistem yang dinilai penting, yakni gilingan I dan gilingan II untuk mengetahui adanya efek perubahan terhadap availabilitas sistem. Laju kerusakan dan laju perbaikan lain bernilai konstan ketika dilakukan perubahan pada subsistem gilingan I dan gilingan II.

Tabel 4.3 Efek Laju Kerusakan Gilingan I dan Laju Kerusakan Gilingan II

α_3	α_2					
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,010
0,002	0,9855	0,9836	0,9808	0,9766	0,9704	0,9613
0,003	0,9837	0,9818	0,9790	0,9749	0,9687	0,9596
0,005	0,9810	0,9792	0,9764	0,9723	0,9661	0,9571
0,007	0,9771	0,9752	0,9725	0,9684	0,9623	0,9533
0,010	0,9712	0,9694	0,9666	0,9626	0,9566	0,9477
0,015	0,9625	0,9607	0,9580	0,9540	0,9481	0,9394

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem gilingan I sebesar 0,001 dan laju kerusakan subsistem gilingan II sebesar 0,002 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik sebesar 98,55%. Hasil analisis pada Tabel 4.3 menunjukkan adanya penurunan availabilitas sistem ketika laju kerusakan subsistem gilingan I dan gilingan II meningkat. Setiap peningkatan 50 persen pada laju kerusakan subsistem gilingan I dan gilingan II, terjadi penurunan availabilitas sistem hingga 1,83 persen.

Tabel 4.4 Efek Laju Perbaikan Gilingan I dan Laju Perbaikan Gilingan II

β_3	β_2					
	0,33	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01
0,54	0,9855	0,9817	0,9743	0,9598	0,9321	0,8812
0,27	0,9819	0,9782	0,9708	0,9565	0,9289	0,8784
0,14	0,9749	0,9712	0,9640	0,9498	0,9226	0,8728
0,07	0,9611	0,9575	0,9505	0,9367	0,9103	0,8617
0,03	0,9347	0,9313	0,9246	0,9116	0,8865	0,8404
0,02	0,8860	0,8829	0,8769	0,8652	0,8426	0,8008

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa ketika laju perbaikan subsistem gilingan I sebesar 0,33 dan laju perbaikan subsistem gilingan II sebesar 0,54 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik sebesar 98,55%. Hasil analisis pada Tabel 4.4 menunjukkan adanya penurunan availabilitas sistem ketika laju perbaikan subsistem gilingan I dan gilingan II menurun. Setiap

penurunan 50 persen pada laju perbaikan subsistem gilingan I dan gilingan II, penurunan availabilitas sistem mencapai 10,71 persen.

Tabel 4.5 Efek Laju Kerusakan Gilingan I dan Laju Perbaikan Gilingan I

β_2	α_2					
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006	0,010
0,325	0,9855	0,9836	0,9808	0,9766	0,9704	0,9613
0,163	0,9817	0,9780	0,9725	0,9643	0,9523	0,9349
0,081	0,9743	0,9670	0,9563	0,9406	0,9180	0,8862
0,041	0,9598	0,9458	0,9254	0,8965	0,8564	0,8025
0,020	0,9321	0,9060	0,8694	0,8197	0,7550	0,6751
0,010	0,8812	0,8356	0,7754	0,6998	0,6104	0,5124

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem gilingan I sebesar 0,001 dan laju perbaikan subsistem gilingan I sebesar 0,325 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik sebesar 98,55%. Hasil analisis pada Tabel 4.5 menunjukkan adanya penurunan availabilitas sistem ketika laju kerusakan subsistem gilingan I meningkat dan laju perbaikan subsistem gilingan I menurun. Setiap peningkatan 50 persen pada laju kerusakan subsistem gilingan I dan penurunan 50 persen pada laju perbaikan subsistem gilingan I, penurunan availabilitas sistem mencapai 47,36 persen.

Tabel 4.6 Efek Laju Kerusakan Gilingan II dan Laju Perbaikan Gilingan II

β_3	α_3					
	0,002	0,003	0,005	0,007	0,010	0,015
0,54	0,9855	0,9837	0,9810	0,9771	0,9712	0,9625
0,27	0,9819	0,9784	0,9731	0,9654	0,9539	0,9373
0,14	0,9749	0,9679	0,9577	0,9428	0,9212	0,8907
0,07	0,9611	0,9477	0,9283	0,9006	0,8621	0,8101
0,03	0,9347	0,9097	0,8746	0,8267	0,7640	0,6860
0,02	0,8860	0,8421	0,7838	0,7101	0,6224	0,5250

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem gilingan II sebesar 0,002 dan laju perbaikan subsistem gilingan II sebesar 0,54 maka probabilitas sistem beroperasi

dengan baik sebesar 98,55%. Hasil analisis pada Tabel 4.6 menunjukkan adanya penurunan availabilitas sistem ketika laju kerusakan subsistem gilingan II meningkat dan laju perbaikan subsistem gilingan II menurun. Setiap peningkatan 50 persen pada laju kerusakan subsistem gilingan II dan penurunan 50 persen pada laju perbaikan subsistem gilingan II, penurunan availabilitas sistem mencapai 45,51 persen.

Penurunan availabilitas sistem tertinggi terjadi ketika kerusakan sering terjadi pada subsistem gilingan I. Sehingga subsistem gilingan I merupakan subsistem yang memberikan pengaruh terbesar terhadap penurunan availabilitas sistem secara keseluruhan.

Perubahan laju kerusakan dilakukan untuk mengetahui subsistem yang memiliki pengaruh penting terhadap reliabilitas sistem. Subsistem yang memberikan penurunan tertinggi pada nilai reliabilitas sistem dinyatakan sebagai subsistem penting. Hasil perhitungan nilai reliabilitas sistem dengan perubahan laju kerusakan subsistem cane cutter dan unigrator sedangkan subsistem lain bernilai konstan disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Efek Laju Kerusakan Cane Cutter dan Unigrator terhadap Reliabilitas Sistem

t	α_1				
	0,002	0,003	0,004	0,006	0,009
24	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
48	0,9988	0,9987	0,9986	0,9984	0,9981
72	0,9966	0,9963	0,9960	0,9954	0,9945
96	0,9913	0,9906	0,9896	0,9881	0,9859
120	0,9772	0,9752	0,9726	0,9688	0,9630

Berdasarkan Tabel 4.7 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem cane cutter dan unigrator sebesar 0,002 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik setelah digunakan 120 jam adalah 97,72%. Penurunan reliabilitas sistem terjadi ketika laju kerusakan cane cutter dan unigrator meningkat. Penurunan reliabilitas sistem juga terjadi ketika waktu pemakaian bertambah. Peningkatan laju kerusakan sebesar 50 persen serta penambahan

waktu pemakaian selama 24 jam memberikan efek penurunan reliabilitas sistem mencapai 2,61 persen.

Tabel 4.8 Efek Laju Kerusakan Gilingan I terhadap Reliabilitas Sistem

t	α_2				
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,006
24	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
48	0,9988	0,9988	0,9987	0,9985	0,9983
72	0,9966	0,9964	0,9961	0,9957	0,9951
96	0,9912	0,9908	0,9900	0,9889	0,9873
120	0,9770	0,9757	0,9738	0,9709	0,9667

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem Gilingan I sebesar 0,001 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik setelah digunakan 120 jam adalah 97,70%. Penurunan reliabilitas sistem terjadi ketika laju kerusakan Gilingan I meningkat. Penurunan reliabilitas sistem juga terjadi ketika waktu pemakaian bertambah. Peningkatan laju kerusakan sebesar 50 persen serta penambahan waktu pemakaian selama 24 jam memberikan efek penurunan reliabilitas sistem mencapai 2,30 persen.

Tabel 4.9 Efek Laju Kerusakan Gilingan II terhadap Reliabilitas Sistem

t	α_3				
	0,002	0,003	0,005	0,007	0,010
24	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996
48	0,9988	0,9987	0,9986	0,9983	0,9980
72	0,9966	0,9963	0,9958	0,9952	0,9942
96	0,9912	0,9905	0,9893	0,9876	0,9850
120	0,9770	0,9750	0,9719	0,9674	0,9606

Berdasarkan Tabel 4.9 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem Gilingan II sebesar 0,002 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik setelah digunakan 120 jam adalah 97,70%. Penurunan reliabilitas sistem terjadi ketika laju kerusakan Gilingan II meningkat. Penurunan reliabilitas sistem juga terjadi ketika waktu pemakaian bertambah. Peningkatan laju kerusakan sebesar 50 persen serta penambahan waktu pemakaian

selama 24 jam memberikan efek penurunan reliabilitas sistem mencapai 2,81 persen.

Tabel 4.10 Efek Laju Kerusakan Gilingan III terhadap Reliabilitas Sistem

t	α_4				
	0,0013	0,0019	0,0029	0,0043	0,0065
24	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
48	0,9988	0,9988	0,9987	0,9985	0,9983
72	0,9966	0,9964	0,9961	0,9957	0,9950
96	0,9912	0,9907	0,9900	0,9889	0,9872
120	0,9770	0,9757	0,9738	0,9709	0,9665

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem Gilingan III sebesar 0,0013 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik setelah digunakan 120 jam adalah 97,70%. Penurunan reliabilitas sistem terjadi ketika laju kerusakan Gilingan III meningkat. Penurunan reliabilitas sistem juga terjadi ketika waktu pemakaian bertambah. Peningkatan laju kerusakan sebesar 50 persen serta penambahan waktu pemakaian selama 24 jam memberikan efek penurunan reliabilitas sistem mencapai 2,31 persen.

Tabel 4.11 Efek Laju Kerusakan Gilingan IV terhadap Reliabilitas Sistem

t	α_5				
	0,0013	0,0020	0,0030	0,0045	0,0068
24	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996
48	0,9988	0,9987	0,9986	0,9985	0,9983
72	0,9966	0,9964	0,9961	0,9956	0,9950
96	0,9912	0,9907	0,9899	0,9888	0,9870
120	0,9770	0,9756	0,9736	0,9706	0,9660

Berdasarkan Tabel 4.11 diketahui bahwa ketika laju kerusakan subsistem Gilingan IV sebesar 0,0013 maka probabilitas sistem beroperasi dengan baik setelah digunakan 120 jam adalah 97,70%. Penurunan reliabilitas sistem terjadi ketika laju kerusakan Gilingan IV meningkat. Penurunan reliabilitas sistem juga terjadi ketika waktu pemakaian bertambah.

Peningkatan laju kerusakan sebesar 50 persen serta penambahan waktu pemakaian selama 24 jam memberikan efek penurunan reliabilitas sistem mencapai 2,36 persen.

Hasil analisis perubahan laju kerusakan subsistem menunjukkan bahwa subsistem Gilingan II yang memberikan efek penurunan tertinggi pada nilai reliabilitas sistem. Oleh karena itu Gilingan II harus diprioritaskan dalam *maintenance* agar reliabilitas sistem meningkat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Gilingan II merupakan subsistem yang paling sering mengalami kerusakan karena laju kerusakan gilingan II paling tinggi yakni sebesar 0,002001 kerusakan/jam atau subsistem akan mengalami kerusakan setelah dioperasikan selama 500 jam. Sedangkan subsistem yang paling jarang mengalami kerusakan adalah gilingan I karena laju kerusakan gilingan I paling rendah yakni sebesar 0,00126 kerusakan/jam atau subsistem akan mengalami kerusakan setelah dioperasikan selama 794 jam.
2. Pada kondisi *steady state*, probabilitas sistem berada pada state ke-1 sebesar 0,985481, yang berarti probabilitas sistem beroperasi dengan baik pada kondisi *steady state* adalah 98%. Pada kondisi *transient state*, diketahui terjadi penurunan reliabilitas sistem dari waktu ke waktu yang menunjukkan bahwa ketahanan sistem rendah.
3. Adanya perubahan laju kerusakan dan laju perbaikan menyebabkan perubahan pada nilai availabilitas dan reliabilitas sistem. Subsistem gilingan I dan gilingan II dinyatakan sebagai subsistem yang memberikan pengaruh terhadap nilai availabilitas dan reliabilitas sistem ditinjau dari efek perubahan laju kerusakan dan laju perbaikan subsistem.

5.2 Saran

Penurunan availabilitas serta reliabilitas tertinggi dipengaruhi oleh laju kerusakan gilingan I dan gilingan II, sebaiknya gilingan I dan gilingan II diberi prioritas lebih dalam hal *maintenance*. Dengan demikian, diharapkan laju kerusakan subsistem menurun dan memberikan efek kenaikan pada nilai availabilitas dan reliabilitas sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A. R. (2013). *Analisis Availabilitas Sistem Seri dengan Pendekatan Analisis Markov*. Surabaya: ITS.
- Astarini, L. A. (2015). *Analisis Reliabilitas dan Availabilitas Mesin Produksi dengan Rangkaian Seri Menggunakan Pendekatan Analisis Markov di PT. "X"*. Surabaya: ITS.
- Candi Baru, P. P. (2016). *Laporan Giling Harian*. Sidoarjo: PT. PG Candi Baru.
- Chapra, S. C. (1991). *Metode Numerik untuk Teknik*. Jakarta: UI-Press.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book.
- Govindarajulu. (2007). *Nonparametrik Inference*. Word Scientific Company Incorporated.
- Lewis, E. E. (1995). *Introduction to Reliability Engineering*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Munir, R. (2005). *Metode Numerik (Edisi Revisi ke-2)*. Bandung: Informatika.
- Prasetyo, C. (2016). Perancangan Sistem Kebijakan Perawatan Berdasarkan Reliability Centered Maintenance II di PG Meritjan. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi III*, 10.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Cane Cutter dan Unigrator

Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)
1	1992	1,45
2	1272	0,15
3	96	0,35
4	360	1,95
5	1128	0,9
6	72	1,05
7	120	0,45
8	1704	1
9	24	0,65
10	144	0,6
11	24	0,9
12	24	0,85
13	144	0,7
14	528	1,25
15	96	1
16	1560	3,7
17	24	3,75
18	1296	3,2
19	336	2,5
20	264	3,5
21	792	0,55
22	1800	0,65
23	216	2,45
24	432	0,75

Lampiran 2 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Gilingan I

Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)
1	2760	2,7
2	48	2
3	1200	1,05
4	24	4
5	1056	3
6	1536	1,8
7	72	2,2
8	1824	1,4
9	1320	2,46
10	24	13,65
11	24	4,25
12	72	0,9
13	2064	0,95
14	456	1,5
15	168	3,25
16	48	4,05

Lampiran 3 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Gilingan II

Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)	Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)
1	1560	3,15	15	72	0,5
2	672	1,65	16	576	2,9
3	24	1	17	912	0,75
4	432	3,7	18	96	3,3
5	264	0,60	19	48	0,8
6	1728	1,45	20	48	2
7	24	0,9	21	48	3,25
8	24	3,4	22	1104	1,95
9	312	0,95	23	168	6,2
10	720	0,5	24	528	1,4
11	24	0,5	25	1200	0,75
12	576	0,75	26	312	1
13	1464	1,95	27	672	2
14	360	1,4	28	24	2,75

Lampiran 4 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Gilingan III

Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)
1	1968	0,7
2	1056	0,25
3	1224	4
4	48	3,9
5	1008	3
6	168	4,35
7	2928	1,15
8	2616	4,85
9	48	2,85
10	24	4,5
11	24	1,2
12	24	1,3
13	24	0,55
14	24	1,4
15	552	0,85
16	816	3,2

Lampiran 5 Data Masa Pakai dan Lama Perbaikan Gilingan IV

Kerusakan ke-	Masa Pakai (Jam)	Lama Perbaikan (Jam)
1	2736	0,8
2	48	0,6
3	1392	2,3
4	96	1,75
5	144	0,25
6	192	0,75
7	1320	0,8
8	768	2,55
9	24	2,15

Lampiran 6 Perhitungan Steady State

$$P'_1 = [-\alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_5]P_1(t) + P_2(t)\beta_1 + P_3(t)\beta_2 + \dots + P_6(t)\beta_5$$

$$P'_2(t) = \alpha_1 P_1(t) - P_2(t)\beta_1$$

$$P'_3(t) = \alpha_2 P_1(t) - P_3(t)\beta_2$$

$$P'_4(t) = \alpha_3 P_1(t) - P_4(t)\beta_3$$

$$P'_5(t) = \alpha_4 P_1(t) - P_5(t)\beta_4$$

$$P'_6(t) = \alpha_5 P_1(t) - P_6(t)\beta_5$$

$$P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_6(t) = 1$$

	α	β
Cane Cutter & Unigrator	0,001661	0,699708
Gilingan I	0,00126	0,325468
Gilingan II	0,002001	0,544218
Gilingan III	0,001275	0,420499
Gilingan IV	0,001339	0,753138

$$P'_1(t) = -0,00754P_1(t) + 0,699708P_2(t) + 0,325468P_3(t) + 0,544218P_4(t) + 0,420499P_5(t) + 0,73138P_6(t)$$

$$P'_2(t) = 0,001661P_1(t) - 0,699708P_2(t)$$

$$P'_3(t) = 0,00126P_1(t) - 0,325468P_3(t)$$

$$P'_4(t) = 0,002001P_1(t) - 0,544218P_4(t)$$

$$P'_5(t) = 0,001275P_1(t) - 0,420499P_5(t)$$

$$P'_6(t) = 0,001339P_1(t) - 0,753138P_6(t)$$

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = 0 \quad \text{dengan } t \rightarrow \infty$$

$$P_2 = 0,002374P_1$$

$$P_3 = 0,003872P_1$$

$$P_4 = 0,003677P_1$$

$$P_5 = 0,003031P_1$$

$$P_6 = 0,001778P_1$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 1$$

$$P_1 + 0,002374P_1 + 0,003872P_1 + 0,003677P_1 + 0,003031P_1 + 0,001778P_1 = 1$$

$$P_1 = 0,985481$$

$$P_2 = 0,00234$$

$$P_3 = 0,003816$$

$$P_4 = 0,003624$$

$$P_5 = 0,002987$$

$$P_6 = 0,001752$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan pada tanggal 16 Mei 1994 di kota Madiun dengan nama lengkap Lintang Ayu Pratiwi. Penulis yang biasa dipanggil Lintang ini merupakan anak pertama dari empat bersaudara dengan mempunyai dua adik perempuan dan satu adik laki-laki. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Darul Ulum, SDN Bacem Madiun, SMP Negeri 1 Geger Madiun, dan SMA Negeri 1 Geger

Madiun. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Geger Madiun pada tahun 2012, penulis mengikuti seleksi penerimaan mahasiswa baru DIII reguler dan diterima di Jurusan DIII Statistika ITS. Setelah lulus DIII penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Jurusan Statistika ITS. Penulis terdaftar dengan NRP 1315 105 048. Penulis sempat menjadi staff Training Development di Divisi Statistics Computer Course HIMASTA ITS periode 2013/2014. Jika terdapat kritik dan saran dapat dikirim melalui e-mail penulis di lintangayu1605@gmail.com.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)